



# Speech Perception and Language Outcome in Congenitally Deaf Children Receiving Cochlear Implants in the First Year of Life

Sung Wook Jeong, Ji-Won Seo, Sung-Hyun Boo, and Lee-Suk Kim

Department of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, College of Medicine, Dong-A University, Busan, Korea

생후 12개월 이전에 인공와우이식을 받은 선천성 농 아동의 말지각과 언어능력

정성욱 · 서지원 · 부성현 · 김리석

동아대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실

Received March 9, 2018

Revised May 21, 2018

Accepted June 18, 2018

Address for correspondence

Lee-Suk Kim, MD, PhD  
Department of Otolaryngology-  
Head and Neck Surgery,  
College of Medicine,  
Dong-A University,  
26 Daesingongwon-ro, Seo-gu,  
Busan 49201, Korea  
Tel +82-51-240-5428  
Fax +82-51-253-0712  
E-mail klsolkor@chol.com

**Background and Objectives** The objective of this study was to examine the effect of early cochlear implantation (CI) performed in infants less than 12 months of age.

**Subjects and Method** Twenty-five children who received their first CI before 12 months of age were included in this study (infant group). The speech perception and language outcomes of these children were compared with those of 14 children who received their first CI between 13 and 24 months of age (older group). All children received sequential bilateral CI with the inter-stage interval of less than 2 years. Speech perception was measured using Categories of Auditory Performance, monosyllabic word test and sentence test, and language ability was measured using Sequenced Language Scale for Infants, Preschool Receptive-Expressive Language Scale, or Receptive & Expressive Vocabulary Test, depending on the age at the time of testing.

**Results** There were no significant differences in speech perception abilities between the infant group and the older group. The mean expressive language score of infant group was higher than that of the older group, but the difference was not statistically significant. However, the receptive language score of infant group was significantly higher than that of the older group.

**Conclusion** Children who received CI before 12 months of age achieved better receptive language ability than those who received it after 12 months of age. Thus CI should be performed as early as before 12 months of age to achieve better language ability.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2018;61(12):644-9

**Key Words** Cochlear implant · Infant · Language · Speech perception.

## 서론

청각의 발달은 출생 이전부터 이루어져 태생 26~28주에 태아는 소리를 듣기 시작하며, 와우의 발달은 출생 시 완료되고 중추청각로(central auditory pathway)는 출생 후에도 지

속적으로 발달한다.<sup>1)</sup> 특히 생후 첫 1년간은 중추청각로의 형태적, 기능적 발달에 가장 중요한 시기로, 이 시기에 충분한 청각 자극을 받지 못하면 중추청각로가 정상적으로 발달하지 못해 구어 의사소통 능력의 결함을 초래하게 된다.<sup>2)</sup> 일반적으로 생후 첫 1년은 구어 언어 발달(spoken language development)의 결정적 기간(critical period)으로 알려져 있다.<sup>3)</sup> 사람의 뇌는 신경 가소성(neural plasticity), 즉 제한된 시간 내에 새로운 신경 네트워크(neural network)를 형성하는 능력

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

을 가지고 있다. 새로운 신경 네트워크를 형성하기 위해서는 결정적 기간 내에 감각 자극을 받아야 하며, 자극을 받지 못한 부위는 퇴화한다.<sup>4)</sup> 신경 가소성은 출생 이전부터 존재하고 시간이 흐름에 따라 감소하기 때문에 고도 이상 감각신경성난청을 가진 경우 인공와우이식을 가능한 조기에 시행해야 한다.<sup>4,5)</sup> 또한 사람의 뇌는 교차 가소성(cross-modal plasticity)이라는 능력을 가지고 있어, 중추청각로의 발달 시기에 청각 자극을 충분히 받지 못하면, 시각과 같은 다른 정상적인 감각이 대뇌의 청각피질을 차지하여 이후에는 청각 자극이 주어지더라도 대뇌 청각피질이 반응을 하지 않게 된다.<sup>6,7)</sup>

이러한 관점에서 선천성 감각신경성난청의 치료는 신생아 청각선별검사를 통한 난청의 조기 진단과 조기 중재가 핵심이다. 선천성 감각신경성난청을 가진 경우 생후 6개월 이내에 보청기를 이용한 조기 중재를 시작하고, 말·언어 발달의 진전이 부족한 고도 이상 감각신경성난청을 가진 아동에서는 생후 24개월 이전에 인공와우이식을 시행하도록 추천하고 있다. 최근에는 청각 박탈 기간을 더욱 줄이기 위해 생후 12개월 이전 영아기에 이식 수술이 시행되고 있으며, 여러 연구에서 생후 12개월 이전에 시행한 인공와우이식이 13~24개월 사이에 시행한 경우보다 더 우수한 언어능력을 보여준다고 보고하고 있다.<sup>5,8-11)</sup>

국내에서도 선천성 농 아동에 대해 생후 12개월 이전 인공와우이식이 활발히 시행되고 있는 추세이나 이들의 언어능력 발달에 대한 문헌 보고는 아직 없는 상황이다. 이에 본 연구에서는 생후 12개월 이전에 인공와우이식을 받은 선천성 농 아동과 생후 13~24개월 사이에 인공와우이식을 받은 선천성 농 아동의 말지각(speech perception)과 언어능력(language ability)을 비교하여 영아기 인공와우이식의 효과에 대해 알아보고자 하였다.

## 대상 및 방법

대학교병원에서 인공와우이식을 받은 선천성 난청 소아 환자 840명 중 생후 24개월 이전에 이식을 받은 156명의 의무기록을 후향적으로 분석하였다(IRB No. DAUHIRB-18-204). 이 중 내이 기형과 중복 장애가 없고, 일측 인공와우이식 후 2년 이내에 순차적으로 반대측 인공와우이식을 받았으며, 마지막 말·언어 평가를 시행한 나이가 만 3세 이상인 아동 39명

을 대상으로 본 연구를 시행하였다. 일측 인공와우이식을 생후 12개월 이전에 시행한 25명을 '12개월 이전 이식 군', 일측 인공와우이식을 생후 13~24개월 사이에 시행한 14명을 '24개월 이전 이식 군'으로 하여 두 집단 간 말지각(speech perception)과 언어능력(language ability)을 비교하였다. 말지각 검사와 언어능력 검사는 모든 아동에서 인공와우이식 후 매년 정기적으로 시행하였다.

말지각은 Categories of Auditory Performance(CAP), 단음절 단어 지각 검사, 그리고 문장 지각 검사로 평가하였고 매년 평가한 검사의 원점수를 그대로 분석에 사용하였다. 언어능력은 아동의 연령과 능력에 따라 영유아 언어 발달 검사(Sequenced Language Scale for Infants), 취학전 아동 수용 언어 및 표현 언어 발달 척도 검사(Preschool Receptive-Expressive Language Scale), 혹은 수용·표현 어휘력검사(Receptive & Expressive Vocabulary Test)로 평가하였다. 언어능력 검사 점수는 등가연령(equivalent age)을 생활연령(chronological age)으로 나눈 비율을 사용하였으며 생후 3세 이후에 시행한 검사 중 가장 마지막에 시행한 검사의 결과를 분석에 사용하였다. 통계분석에는 SPSS 20.0(IBM Corp., Armonk, NY, USA)을 이용하였고, 정규성 여부에 따라 independent t-test 혹은 Mann-Whitney test를 시행하였다. 통계적 유의성의 기준은  $p < 0.05$ 로 하였다.

## 결 과

'12개월 이전 이식 군' 25명의 일측 인공와우이식 시행 연령은 평균 10.5개월(범위: 9~12개월)이었고, '24개월 이전 이식 군' 14명의 일측 인공와우이식 시행 연령은 평균 17.9개월(범위: 13~24개월)이었다. 일측 이식 수술과 반대 측 이식 수술 간 간격은 '12개월 이전 이식 군'에서 평균 9.5개월(범위: 4~23개월), '24개월 이전 이식 군'에서 평균 10.9개월(범위: 5~21개월)로 두 수술의 간격은 집단 간 유의한 차이가 없었다(Table 1).

말지각 점수는 생활 연령과 청각 연령(첫 번째 일측 인공와우이식 후 기간)을 기준으로 각각 분석하였다. 생활 연령을 기준으로 한 비교에서 CAP, 단음절 단어 지각 검사, 문장 지각 검사의 세 가지 말지각 검사 모두에서 두 집단 간 유의한 차이가 없었고(Fig. 1), 청각 연령을 기준으로 한 비교에서도 두 집단 간 유의한 차이를 보이지 않았다(Fig. 2).

**Table 1.** Age at the time of first and second CI

	Age at 1st CI (mean)	Age at 2nd CI (mean)	Inter-stage interval (mean)
CI before age 12 months (n=25)	10.5	20.0	9.5
CI between age 13–24 months (n=14)	17.9	28.9	10.9

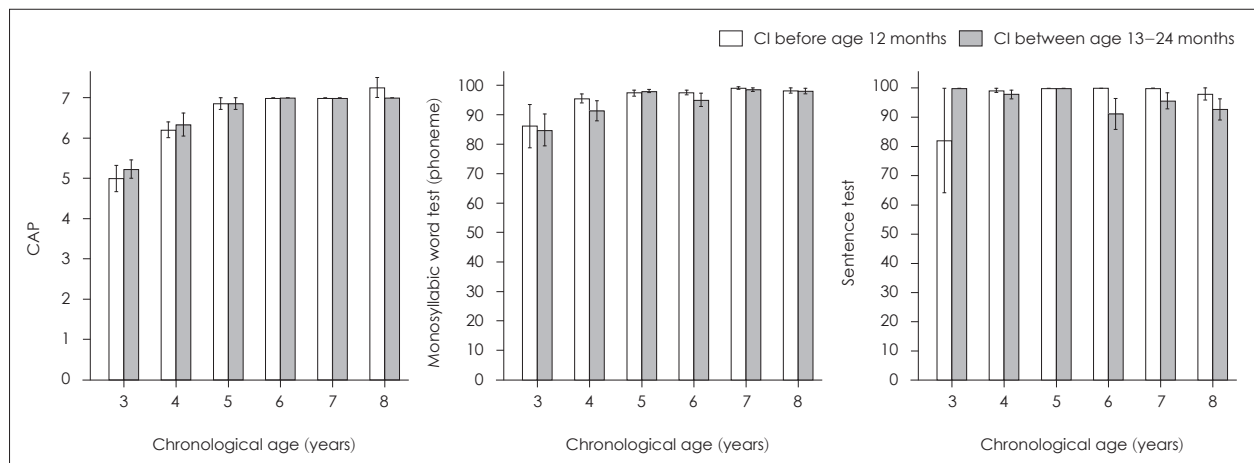
CI: cochlear implantation

반면 수용 언어능력은 '12개월 이전 이식 군'이 '24개월 이전 이식 군'에 비해 유의하게 우수한 결과를 보여주었다( $p=0.034$ , independent t-test). 표현 언어능력은 '12개월 이전 이식 군'이 '24개월 이전 이식 군'에 비해 평균 점수는 높았으나 통계적 유의성은 없었다( $p=0.127$ , independent t-test)(Fig. 3).

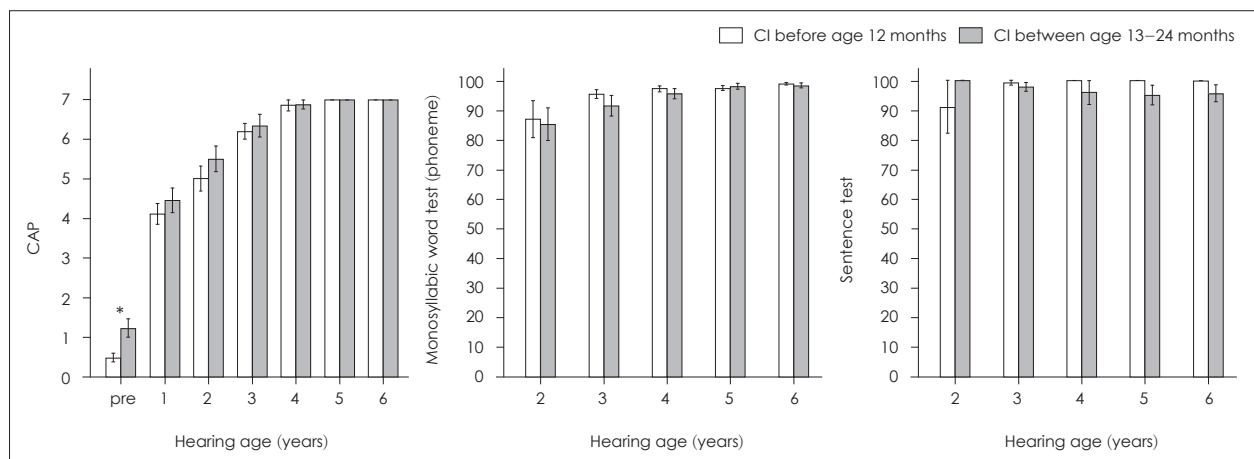
## 고 찰

선천성 농 아동의 인공와우이식은 조기에 시행할수록 보다 나은 결과를 얻을 수 있으며, 최선의 결과를 얻기 위해 2세 이전 수술이 추천된다. 최근에는 보다 나은 이식 후 결과를 얻기 위해 12개월 이전의 인공와우이식이 시행되는 추세이며, 여러 연구에서 12개월 이전에 인공와우이식을 시행한 경우, 그 이후에 이식한 경우보다 청각적 수행력이 우수한 것

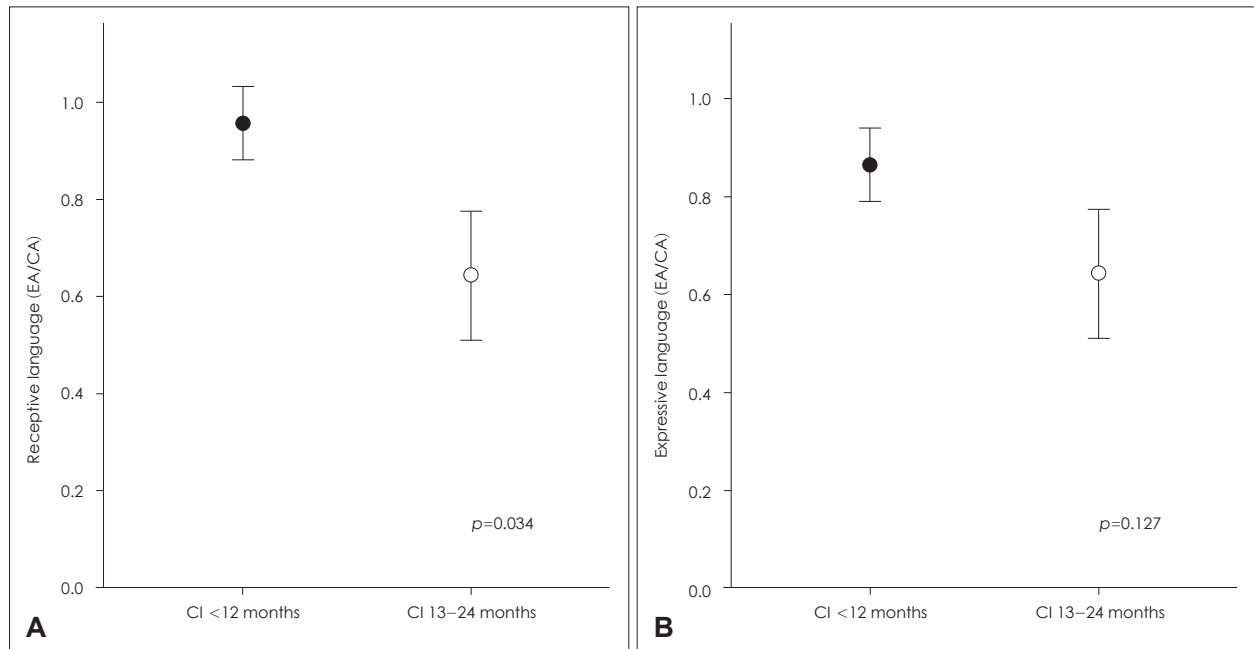
으로 보고하고 있다.<sup>5,8-11)</sup> Leigh 등<sup>8)</sup>은 생후 6~12개월 사이에 인공와우이식을 시행한 군( $n=35$ )과 13~24개월 사이에 이식을 시행한 군( $n=85$ )의 술 후 수행력을 비교한 연구에서 언어능력과 말산출 모두 6~12개월 군이 유의하게 우수한 것으로 보고하였다. Nicholas와 Geers<sup>9)</sup>도 생후 6~11개월 사이에 인공와우이식을 시행한 군( $n=27$ )이 12~18개월 사이에 이식을 시행한 군( $n=42$ )에 비해 4.5세 경 평가한 언어능력이 유의하게 우수하였다고 보고하였다. 그리고 일측 인공와우이식 당시 나이, 인공와우 사용 기간, 일측 혹은 양측 인공와우이식 여부, 난청 진단 시 나이, 어머니의 교육 정도 등이 술 후 언어능력에 미치는 요인을 분석하였는데, 일측 인공와우이식 당시 나이가 최종적인 언어능력과 가장 강력한 상관관계를 가지고 있었다고 하였다.<sup>9)</sup> 이후 Dettman 등,<sup>5)</sup> Holman 등,<sup>10)</sup> Tajudeen 등<sup>11)</sup>도 12개월 이전에 인공와우이식을 시행할 경우, 그 이후



**Fig. 1.** Speech perception after CI according to chronological age. There were no significant differences in scores between children who received first CI before 12 months of age and those who received first CI between 13 months of age and 24 months of age. Values are mean and standard error. CAP: Categories of Auditory Performance, CI: cochlear implantation.



**Fig. 2.** Speech perception after CI according to hearing age which is defined as the period after CI. There were no significant differences in the scores after CI between children who received first CI before 12 months of age and those who received first CI between 13 and 24 months of age. Values are mean and standard error. \* $p<0.05$ . CAP: Categories of Auditory Performance, CI: cochlear implantation.



**Fig. 3.** Receptive and expressive language scores after CI. Receptive language score of children who received CI before 12 months of age was significantly higher than that of children who received CI between 13 and 24 months of age (A). Similar pattern was shown in expressive language score but significant difference was not shown (B). Values are mean and standard error. EA: equivalent age, CA: chronological age, CI: cochlear implantation.

에 시행한 경우보다 우수한 청각적 수행력을 획득할 수 있음을 보고하였다. 본 연구에서도 첫 번째 인공와우이식 수술 시 연령에 따른 수행력을 분석한 결과 생후 12개월 이전 이식 군이 13~24개월 사이 이식 군에 비해 우수한 언어능력을 획득함을 보여주었다.

소수의 연구에서는 12개월 이전에 인공와우이식을 시행할 경우 정상 청력을 가진 아동과 비교하여 청각적 수행력에 유의한 차이가 없음을 보여주었다.<sup>12-14)</sup> Ching 등<sup>12)</sup>은 3세 이전에 인공와우이식을 받은 87명의 환자를 대상으로 시행한 연구에서, 12개월 이전에 이식을 시행할 경우 청각 이해(auditory comprehension)와 표현 의사소통(expressive communication)이 정상 청력을 가진 아동과 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. Colletti 등<sup>13)</sup>은 36개월 이전에 인공와우이식을 받고 4~9년이 경과한 소아 70명을 대상으로 한 연구에서, 12개월 이전(평균 8.2개월)에 이식을 받은 경우, 이후에 이식받은 아동에 비해 청각적 수행력이 우수하였고, 수용 언어능력의 발달은 12개월 이전에 이식받은 군에서만 정상 청력 군과 동일한 발달 속도를 보인다고 보고하였다. Colletti 등<sup>14)</sup>은 2세 이전에 수술한 아동 45명을 대상으로 한 후속 연구에서 연령 구분을 더욱 세분화하여 술 후 수행력을 분석하였다. 수술 시 연령을 생후 2~6개월(n=12), 7~12개월(n=9), 13~18개월(n=11), 19~24개월(n=13)의 네 가지로 구분하였고, 대조군은 생활연령을 매칭한 20명의 건청 아동으로 하였다. 수술 후 48개월

의 CAP-II 점수는 생후 2~6개월 군이 다른 군에 비해 유의하게 높았고 건청 아동과는 유의한 차이가 없었으며, 수용 어휘력 검사에서도 생후 2~6개월 군이 다른 환자군에 비해 유의하게 높은 점수를 보였고 건청 아동의 수행력과 유의한 차이가 없었다. 단어 및 문장 이해력은 생후 2~6개월 군과 7~12개월 군 사이에 유의한 차이가 없었다. 그러나 생후 2~6개월 군의 점수는 건청 아동의 점수와 유의한 차이가 없었으나, 7~12개월 군의 점수는 건청 아동의 점수에 비해 부진한 것으로 나타났다.

이상과 같이 여러 연구에서 생후 12개월 이전, 더 나아가 생후 6개월 이전에 인공와우이식을 시행할 경우 그 이후에 이식이 시행된 경우에 비해 우수한 청각적 수행력을 획득할 수 있음을 보고하고 있으나, 일부 연구에서는 생후 12개월 이전의 인공와우이식이 13~24개월 사이의 이식에 비해 술 후 청각적 수행력 측면에서 유의한 차이를 가져오지 못한다고 보고하고 있다.<sup>15,16)</sup> Holt 등<sup>15)</sup>은 생후 48개월 이전에 인공와우이식을 시행한 93명(6~12개월 사이 이식한 소아 5명, 13~24개월 사이 이식한 소아 27명 포함)의 소아를 대상으로 한 연구에서 이식 당시의 나이가 어릴수록 말인지력이 우수하였으나, 6~12개월 사이 이식한 군과 13~24개월 사이 이식한 군 사이에는 유의한 차이가 없었다고 보고하였다. 생후 48개월 이전에 인공와우이식을 시행한 96명의 소아를 대상으로 한 후속 연구에서도, 생후 6~12개월 사이에 인공와우이식을 시행한 군(n=6)



과 13~24개월 사이에 이식한 군( $n=32$ ) 간에 말인지력의 유의한 차이가 없었다고 보고하였다.<sup>16)</sup>

최근까지 보고된 연구들을 종합해 보면 선천성 농 환자에 대한 인공와우이식은 12개월 이전에 시행하는 것이 최선이라고 할 수 있으나, 아직 장기 수행력에 대한 보고가 없는 실정 이어서 12개월 이전 인공와우이식의 효과에 대한 최종적인 결론을 얻기 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.<sup>17)</sup>

생후 12개월 이전 인공와우이식을 위해서는 청력검사의 정확성과 전신마취 및 이식 수술의 안정성이 확보되어야 한다. 생후 12개월 이전에는 행동반응 청력검사를 통해 정확한 청력역치를 알기 어렵기 때문에 청성뇌간반응이나 청성지속반응과 같은 객관적 청력검사를 통해 청력역치를 평가한다. 이 두 가지 객관적 청력검사의 결과는 피검사의 청력역치를 잘 반영하는 것으로 알려져 있으나, 검사실 환경이나 검사자의 숙련도에 따라 정확도에 차이가 있을 수 있고 영아에게는 드물게 청력의 변동이 있을 수 있기 때문에,<sup>18,19)</sup> 영아기 인공와우이식은 정도 관리가 잘 된 청력검사 장비와 숙련된 검사자를 보유한 의료기관에서 반복적인 청력검사를 통해 신뢰할 수 있는 청력역치를 확인한 후 인공와우이식 여부가 결정되어야 한다. 객관적 청력검사는 500 Hz 이하 저주파수 영역의 청력을 측정하는 데 어려움이 있고, 수면을 유도하여 검사해야 하기 때문에 자주 반복하기 어려운 단점이 있다. 따라서 시각강화 청력검사와 같은 행동반응 청력검사를 반복적으로 시행하여 저주파수 영역의 청력을 확인하고 청력의 변동 여부를 면밀히 관찰하여야 한다.

소아에게 전신마취로 시행되는 수술은 소아의 해부, 생리적 특성으로 인해 성인에서의 수술보다 위험성이 증가할 수 있다. 소아는 성인에 비해 기도의 내경이 작고 체액의 균형을 유지하는 능력과 약물의 대사 및 분배 능력이 성인에 비해 떨어진다. 이로 인해 수술 후 후두 및 기도 경련으로 인한 질식의 위험, 흡인으로 인한 호흡기 합병증 위험이 성인에 비해 높으며, 술 후 오심과 구토 등의 합병증도 증가한다.<sup>20)</sup> 특히 12개월 이전 영아의 경우, 심장과 호흡기 발달이 미숙하여 심폐기능 이상(cardiopulmonary event)에 의한 합병증 발생 위험이 증가하는 것으로 알려져 있다.<sup>10)</sup> 이와 같이 소아, 특히 12개월 이전 영아의 경우 전신마취의 위험성이 성인에 비해 증가할 수 있으나, 소아마취 전문의에 의해 마취가 진행될 경우 비교적 안전한 것으로 보고되고 있다. Cohen 등<sup>21)</sup>은 소아에서 시행된 총 29220건의 전신마취 수술을 대상으로 한 연구 결과를 발표하였는데, 사망이나 심정지 등의 심각한 합병증부터 술 후 오심 등의 경미한 합병증에 이르는 다양한 합병증 발생률을 조사한 결과, 생후 1~12개월까지의 합병증 발생률은 만 1~5세까지의 합병증 발생률과 유의한 차이가 없었

으며, 생후 1개월까지의 합병증 발생률은 그 2배에 달하는 것으로 보고하였다. Yeh 등<sup>20)</sup>은 123예의 인공와우이식을 받은 18세 미만의 환자를 대상으로 전신마취 합병증의 발생률을 조사한 보고에서, 8예(6.5%)에서 전신마취에 따른 합병증이 발생하였는데 기도 경련(bronchospasm)과 천명(stridor) 등과 같은 호흡기 합병증이 가장 흔히 발생하는 합병증이라고 하였다. 또한 12개월 이전 영아의 합병증 발생률은 다른 연령군과 비교하여 유의하게 높지 않으며 장기 합병증이 발생하지 않아 영아에서의 전신마취가 비교적 안전한 것으로 보고하였다.

12개월 이전의 영아의 측두골은 성인과 다른 특징을 가진다. 유양돌기 첨부의 발달이 미약하고 골수의 양이 풍부하며, 유양동 함기화는 점진적으로 진행하여 생후 2세경에 약 60% 정도의 함기화가 이루어지는 것으로 알려져 있다.<sup>22,23)</sup> 세반고리관과 안면신경은 성인보다 천측으로 위치하기 때문에 수술 중 주의를 요한다.<sup>10)</sup> 또한 두개골과 두피가 얇고 성인의 두개골보다 굴곡이 심하여 이식 후 내부 기기가 돌출되어 보일 수 있으며, 두부 외상에 의한 피판 문제의 가능성이 증가한다.<sup>22)</sup> 내부 기기를 안정적으로 고정하기 위해 경막이 노출되도록 두개골 삭개를 시행하여도 신생골 형성이 신속히 일어나기 때문에 내부 기기가 돌출되거나 이동할 가능성도 성인에 비해 증가한다. 소아는 성인에 비해 순환하는 체액량이 적고 심혈관계가 미숙하여 체액량의 10% 정도의 소실만으로도 저혈량성 쇼크가 일어날 수 있기 때문에, 술 중 혈액의 손실을 최소화하도록 노력해야 한다. 인공와우이식 수술은 혈액의 손실이 많지 않은 수술이지만, 도출정맥(emissary vein)에서의 출혈이나 골수에서 지속적으로 배어 나오는 출혈(oozing) 등이 문제가 될 수 있으므로 이를 잘 처리하는 것이 중요하다.<sup>23)</sup> 12개월 이전 영아에서의 인공와우이식 수술을 시행할 경우, 이와 같은 영아 측두골의 해부학적 특성을 잘 숙지하고 주의 깊게 수술을 시행하여야 한다. Valencia 등<sup>22)</sup>은 12개월 이전에 인공와우이식을 시행한 15명의 소아를 대상으로 술 후 2개월에서 5년까지 추적 관찰한 결과 내이 기형을 동반하고 있던 1명의 소아에서 술 후 뇌척수액 이루가 발생한 것 외에는 특별한 술 중, 술 후 합병증이 일어나지 않은 것으로 보고하였다. Roland 등<sup>23)</sup>은 12개월 이전에 인공와우이식을 시행한 50명의 소아를 대상으로 술 후 6.8년까지 추적 관찰한 연구에서, 술 후 10개월 이내에 3건의 중대한 합병증(뇌척수액 유출, 내부 기기 고장, 피판 괴사)과 5건의 경미한 합병증(피판 부종, 혈종, 경미한 피부 괴사)이 발생하였는데, 이는 1세 이후의 소아와 성인에서의 합병증 발생률과 비슷한 수준이며, 마취 관련 합병증은 발생하지 않은 것으로 보고하였다. Birman<sup>4)</sup>도 소아마취 전문의가 마취를 시행하면서 안면

신경 감시장치를 이용하여 수술을 시행할 경우 안전하게 인공와우이식을 시행하는 것이 가능하다고 보고하였다.

선천성 농 아동을 대상으로 한 본 연구에서 생후 12개월 이전에 인공와우이식을 시행한 아동이 13~24개월 사이에 이식을 시행한 아동에 비해 우수한 수용 언어능력을 획득하였다. 최선의 언어능력 획득을 위해 선천성 농 아동의 인공와우이식은 생후 12개월 이전에 시행하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

## Acknowledgments

This work was supported by the Dong-A University research fund.

## REFERENCES

- 1) Kisilevsky BS, Low JA. Human fetal behavior: 100 years of study. *Dev Rev* 1998;18(1):1-29.
- 2) Sininger YS, Doyle KJ, Moore JK. The case for early identification of hearing loss in children. Auditory system development, experimental auditory deprivation, and development of speech perception and hearing. *Pediatr Clin North Am* 1999;46(1):1-14.
- 3) Tait M, De Raeve L, Nikolopoulos TP. Deaf children with cochlear implants before the age of 1 year: comparison of preverbal communication with normally hearing children. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2007;71(10):1605-11.
- 4) Birman C. Cochlear implant surgical issues in the very young child. *Cochlear Implants Int* 2009;10 Suppl 1:19-22.
- 5) Dettman SJ, Pinder D, Briggs RJ, Dowell RC, Leigh JR. Communication development in children who receive the cochlear implant younger than 12 months: risks versus benefits. *Ear Hear* 2007;28(2 Suppl):11S-8S.
- 6) Lee DS, Lee JS, Oh SH, Kim SK, Kim JW, Chung JK, et al. Cross-modal plasticity and cochlear implants. *Nature* 2001;409(6817):149-50.
- 7) Fujiwara K, Naito Y, Senda M, Mori T, Manabe T, Shinohara S, et al. Brain metabolism of children with profound deafness: a visual language activation study by 18F-fluorodeoxyglucose positron emission tomography. *Acta Otolaryngol* 2008;128(4):393-7.
- 8) Leigh J, Dettman S, Dowell R, Briggs R. Communication development in children who receive a cochlear implant by 12 months of age. *Otol Neurotol* 2013;34(3):443-50.
- 9) Nicholas JG, Geers AE. Spoken language benefits of extending cochlear implant candidacy below 12 months of age. *Otol Neurotol* 2013;34(3):532-8.
- 10) Holman MA, Carlson ML, Driscoll CL, Grim KJ, Petersson RS, Sladen DP, et al. Cochlear implantation in children 12 months of age and younger. *Otol Neurotol* 2013;34(2):251-8.
- 11) Tajudeen BA, Waltzman SB, Jethanamest D, Svirsky MA. Speech perception in congenitally deaf children receiving cochlear implants in the first year of life. *Otol Neurotol* 2010;31(8):1254-60.
- 12) Ching TY, Dillon H, Day J, Crowe K, Close L, Chisholm K, et al. Early language outcomes of children with cochlear implants: interim findings of the NAL study on longitudinal outcomes of children with hearing impairment. *Cochlear Implants Int* 2009;10 Suppl 1:28-32.
- 13) Colletti L, Mandalà M, Zocante L, Shannon RV, Colletti V. Infants versus older children fitted with cochlear implants: performance over 10 years. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2011;75(4):504-9.
- 14) Colletti L, Mandalà M, Colletti V. Cochlear implants in children younger than 6 months. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2012;147(1):139-46.
- 15) Holt RF, Svirsky MA, Neuburger H, Miyamoto RT. Age at implantation and communicative outcome in pediatric cochlear implant users: is younger always better? *Int Congr Ser* 2004;1273:368-71.
- 16) Holt RF, Svirsky MA. An exploratory look at pediatric cochlear implantation: is earliest always best? *Ear Hear* 2008;29(4):492-511.
- 17) Bruijnzeel H, Ziylan F, Stegeman I, Topsakal V, Grolman W. A systematic review to define the speech and language benefit of early (<12 months) pediatric cochlear implantation. *Audiol Neurootol* 2016;21(2):113-26.
- 18) Jöhr M, Ho A, Wagner CS, Linder T. Ear surgery in infants under one year of age: its risks implications for cochlear implant surgery. *Otol Neurotol* 2008;29(3):310-3.
- 19) Kang MY, Jeong SW, Kim LS. Changes in the hearing thresholds of infants who failed the newborn hearing screening test and in infants treated in the neonatal intensive care unit. *Clin Exp Otorhinolaryngol* 2012;5 Suppl 1:S32-6.
- 20) Yeh JS, Mooney KL, Gingrich K, Kim JT, Lalwani AK. Anesthetic complications in pediatric patients undergoing cochlear implantation. *Laryngoscope* 2011;121(10):2240-4.
- 21) Cohen MM, Cameron CB, Duncan PG. Pediatric anesthesia morbidity and mortality in the perioperative period. *Anesth Analg* 1990;70(2):160-7.
- 22) Valencia DM, Rimell FL, Friedman BJ, Oblander MR, Helmbrecht J. Cochlear implantation in infants less than 12 months of age. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2008;72(6):767-73.
- 23) Roland JT Jr, Cosetti M, Wang KH, Immerman S, Waltzman SB. Cochlear implantation in the very young child: long-term safety and efficacy. *Laryngoscope* 2009;119(11):2205-10.